

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 物理科

030109

止一剎的花火-泡沫對水花濺起高度之影響

學校名稱：臺中市立光榮國民中學

作者： 國二 劉昱岑 國二 劉芷筠 國二 戴艾倫	指導老師： 鍾昌宏 黃翎斐
---	-----------------------------

關鍵詞：泡沫、空氣柱、表面張力

摘要

這份研究在探討球在不同的泡沫厚度、泡沫濃度、水深、水面面積、距水高度、水面有無衛生紙的條件，對水花濺起高度的影響。我們從實驗一得知：在水深 6cm、距水 14cm 時，泡沫厚度 3.33cm 幾乎不會濺起水花；若再從 3.33cm 往上增加，防濺效果不會增加。實驗二中泡沫濃度的比例有 10%、15%、20%、25%、33%，發現濃度越濃防濺效果越好。

在實驗三中發現水越淺，水花濺起高度會越低。在實驗四中當水面面積越大濺起高度越高。實驗五中發現球距離水面越近，水花濺起的高度會越低。在實驗六中發現在有衛生紙的情況下，效果明顯優於無衛生紙，且衛生紙不能剪過。由所有實驗可歸納得知，水花濺起高度與空氣柱的長度有關，空氣柱越長，濺起的水花越高。

壹、研究動機：

有時當你坐在馬桶上時突然感覺屁股發涼，這到底是怎麼一回事？原來是因為污物掉下去的時候濺起水花，這種感覺令人感到很噁心，但如何解決這個問題也成為了令很多人感到煩惱的一個問題。我們查資料後發現，現在有一種機器叫做「微米泡泡機」，就是可以減少水花濺起的裝置，但有些民眾反映效果不是很好，我們推測應該是因為泡沫厚度不足的關係，而之後又發現原來泡沫厚度、泡沫濃度、水深、距水高度、水面面積都和無衛生紙與水花濺起高度皆有關係，我們對此內容產生了好奇心，決定從而開始研究。

貳、研究目的：

- 一、探討不同的泡沫厚度對水花濺起高度之影響
- 二、探討不同泡沫濃度對水花濺起高度之影響
- 三、探討不同水深對水花濺起高度之影響
- 四、探討不同水面面積對水花濺起高度之影響
- 五、探討不同距水高度對水花濺起高度之影響
- 六、探討有無衛生紙對水花濺起高度之影響

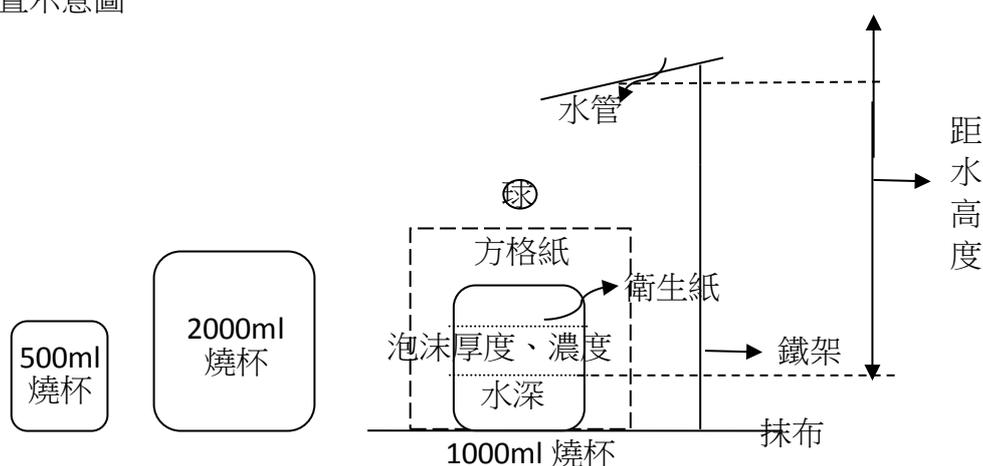
參、研究設備及器材：

一、實驗器材

- (一) 燒杯：500ml（面積大約：34.63 cm²）、1000ml（面積大約：51.77cm²）、2000ml（面積大約：85.69cm²）
- (二) 水管：控制球落下的傾斜角度
- (三) 鐵架：固定球落下時的距水高度、水管的傾斜角度
- (四) 方格紙：測量水花濺起高度
- (五) 傾斜儀：使用手機的 app，用以校正水管的傾斜角度
- (六) 紅墨水：讓噴濺的水花更容易觀察
- (七) 彈力球：直徑大約 3 公分
- (八) 抹布：固定每次器具的擺放位置
- (九) 白板：打板，記錄實驗用
- (十) 直尺：當成控制球是否落下的開關
- (十一) 泡沫機（新）：自動給泡機
- (十二) 泡沫機（舊）：慕絲瓶
- (十三) 洗潔精：用以產生泡沫
- (十四) 攝影機：實驗錄影用
- (十五) 高速攝影機：每秒 1000 張

二、實驗裝置示意圖

三、



圖一 實驗裝置示意圖

肆、研究過程與方法：

一、實驗一：不同泡沫厚度對水花濺起高度之影響



圖十九 測量不同泡沫厚度對水花濺起高度之裝置圖

(一) 實驗步驟：

1. 在燒杯內裝入 6 公分的清水，並使用紅墨水將其染色
2. 調整鐵架距離水面 14 公分
3. 配置濃度為 20% 的泡泡水
4. 利用泡沫機將泡沫添加於水面上，直至泡沫厚度至 1 公分為止
5. 讓直徑 3 公分的球以自由落體的方式落入水面
6. 用相機拍攝水花濺起高度
7. 重複實驗 15 次
8. 記錄實驗結果
9. 以測量 1 公分泡泡的相同方式，分別測量 1.5 公分、2 公分、2.5 公分、3 公分及 3.5 公分
10. 每個不同的泡泡厚度都重複實驗 15 次，並記錄實驗數據。

(二) 資料蒐集與分析

1. 觀看攝影機錄製的影片，將收據記錄於 excel
2. 先計算 15 次實驗數據的平均值，再刪除離平均值最遠的五次數值
3. 進行單因子變異數分析，當 $p < 0.05$ 代表具有顯著差異。

二、實驗二：不同泡沫濃度對水花濺起高度之影響



圖二十 測量不同泡沫濃度對水花濺起高度之裝置圖

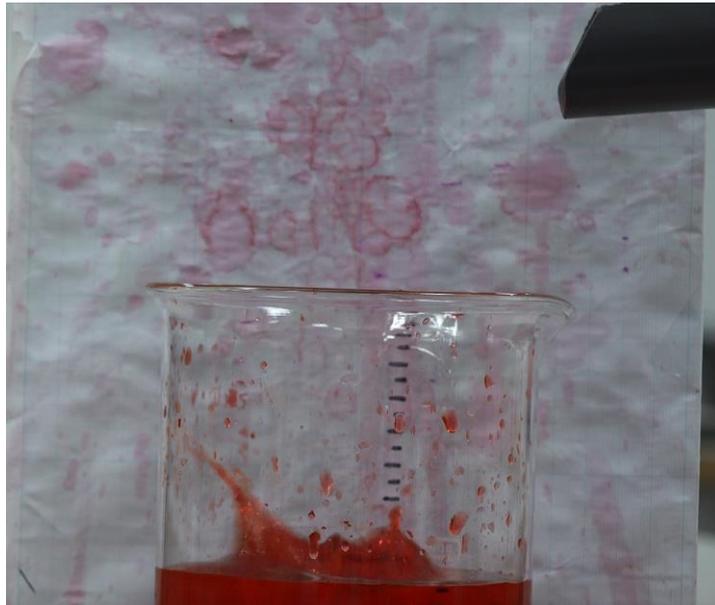
(一) 實驗步驟：

1. 在燒杯內裝入 6 公分的清水，並使用紅墨水將其染色
2. 調整鐵架距離水面 14 公分
3. 配置濃度為 10% 的泡泡水
4. 利用泡沫機將泡沫添加於水面上，直至泡沫厚度至 2 公分為止
5. 讓直徑 3 公分的球以自由落體的方式落入水面
6. 用相機拍攝水花濺起高度
7. 重複實驗 15 次
8. 記錄實驗結果
9. 以測量 10% 泡泡水的相同方式，分別測量 15%、20%、25% 與 33% 泡泡水
10. 每個不同的實驗處理都重複實驗 15 次，並記錄實驗數據。

(二) 資料蒐集與分析

1. 觀看攝影機錄製的影片，將收據記錄於 excel
2. 先計算 15 次實驗數據的平均值，再刪除離平均值最遠的五次數值
3. 進行單因子變異數分析，當 $p < 0.05$ 代表具有顯著差異。

三、實驗三：不同的水深對水花濺起高度之影響



圖二十一 測量不同水深對水花濺起高度之裝置圖

(一) 實驗步驟：

1. 在燒杯內裝入 4 公分的清水，並使用紅墨水將其染色
2. 調整鐵架距離水面 14 公分
3. 配置濃度為 20% 的泡泡水
4. 利用泡沫機將泡沫添加於水面上，直至泡沫厚度至 2 公分為止
5. 讓直徑 3 公分的球以自由落體的方式落入水面
6. 用相機拍攝水花濺起高度
7. 重複實驗 15 次
8. 記錄實驗結果
9. 以測量 4 公分的相同方式，分別測量 5 公分、6 公分、7 公分、8 公分、9 公分及 10 公分
10. 每個不同的實驗處理都重複實驗 15 次，並記錄實驗數據。

(二) 資料蒐集與分析

1. 觀看攝影機錄製的影片，將收據記錄於 excel
2. 先計算 15 次實驗數據的平均值，再刪除離平均值最遠的五次數值
3. 進行單因子變異數分析，當 $p < 0.05$ 代表具有顯著差異。

四、實驗四：不同水面面積對水花濺起高度之影響



圖二十二 測量大小不同的容器對水花濺起高度之裝置圖

(一) 實驗步驟：

1. 在 500ml 的燒杯 (85.69cm^2) 內裝入 6 公分的清水，並使用紅墨水將其染色
2. 調整鐵架距離水面 14 公分
3. 配置濃度為 20% 的泡泡水
4. 利用泡沫機將泡沫添加於水面上，直至泡沫厚度至 2 公分為止
5. 讓直徑 3 公分的球以自由落體的方式落入水面
6. 用相機拍攝水花濺起高度
7. 重複實驗 15 次
8. 記錄實驗結果
9. 以測量 500ml 的相同方式，分別測量 1000ml (51.77cm^2) 和 2000ml (34.63cm^2) 的燒杯
10. 每個不同的實驗處理都重複實驗 15 次，並記錄實驗數據。

(二) 資料蒐集與分析

1. 觀看攝影機錄製的影片，將收據記錄於 excel
2. 先計算 15 次實驗數據的平均值，再刪除離平均值最遠的五次數值
3. 進行單因子變異數分析，當 $p < 0.05$ 代表具有顯著差異。

五、實驗五：不同距水高度對水花濺起高度之影響



圖二十三 測量不同距水高度對水花濺起高度之裝置圖

(一) 實驗步驟：

1. 在燒杯內裝入 6 公分的清水，並使用紅墨水將其染色
2. 調整鐵架距離水面 10 公分
3. 配置濃度為 20% 的泡泡水
4. 利用泡沫機將泡沫添加於水面上，直至泡沫厚度至 2 公分為止
5. 讓直徑 3 公分的球以自由落體的方式落入水面
6. 用相機拍攝水花濺起高度
7. 重複實驗 15 次
8. 記錄實驗結果
9. 以測量 10 公分的相同方式，分別測量 12 公分、14 公分、16 公分及 18 公分的鐵架高度
10. 每個不同的實驗處理都重複實驗 15 次，並記錄實驗數據。

(二) 資料蒐集與分析

1. 觀看攝影機錄製的影片，將收據記錄於 excel
2. 先計算 15 次實驗數據的平均值，再刪除離平均值最遠的五次數值
3. 進行單因子變異數分析，當 $p < 0.05$ 代表具有顯著差異。

六、實驗六：有無衛生紙對水花濺起高度之影響



圖二十四 測量有無衛生紙對水花濺起高度之裝置圖

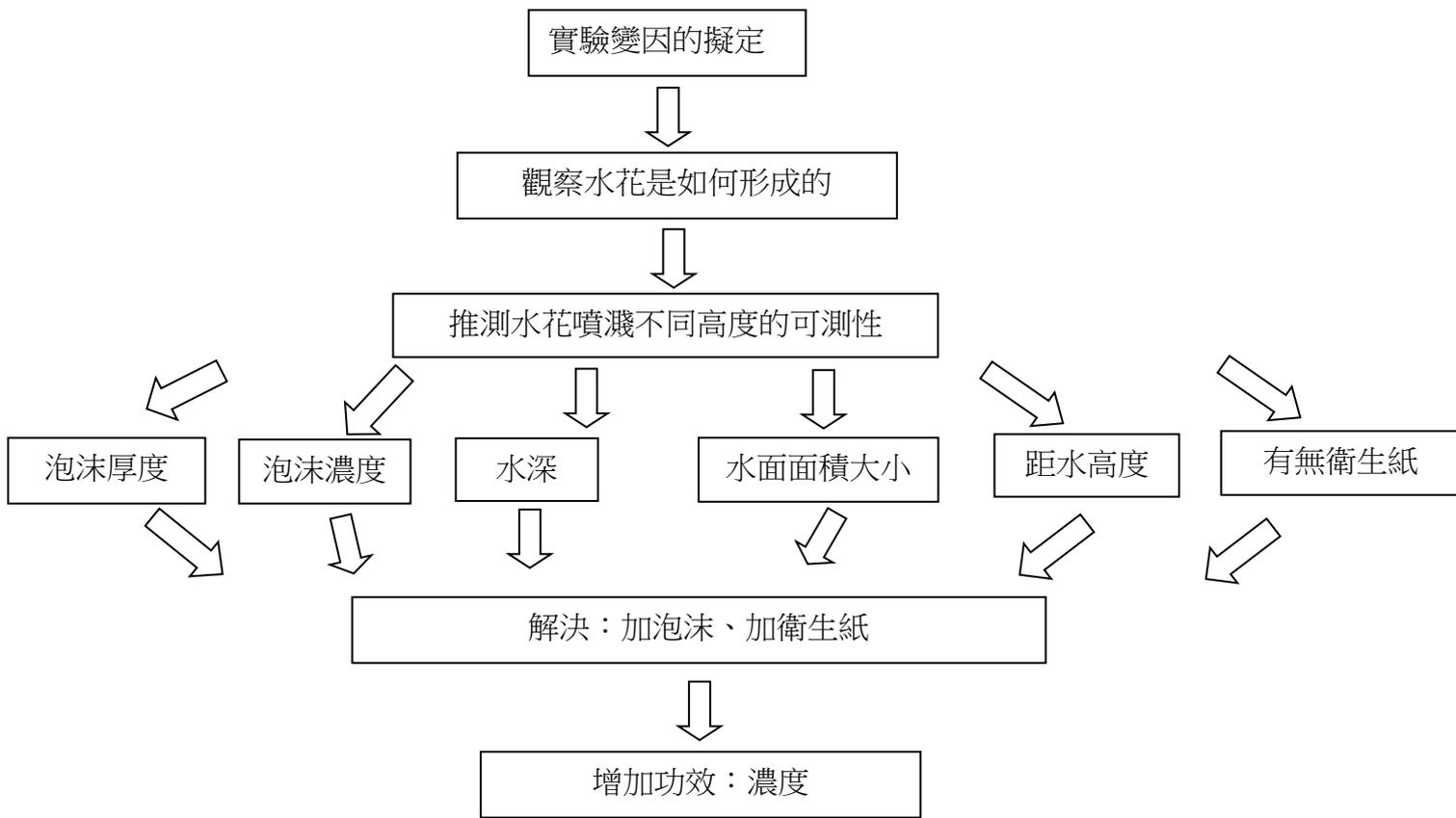
(一) 實驗步驟：

1. 在燒杯內裝入 6 公分的清水，並使用紅墨水將其染色
2. 調整鐵架距離水面 14 公分
3. 配置濃度為 20% 的泡泡水
4. 利用泡沫機將泡沫添加於水面上，直至泡沫厚度至 2 公分為止
5. 讓直徑 3 公分的球以自由落體的方式落入水面
6. 用相機拍攝水花濺起高度
7. 重複實驗 15 次
8. 記錄實驗結果
9. 將一張完整的衛生紙放置於水面，以相同方式測量進行實驗
10. 將一張剪成圓形且為水面大小的衛生紙放置於水面，以相同方式測量進行實驗
11. 每個不同的實驗處理都重複實驗 15 次，並記錄實驗數據。

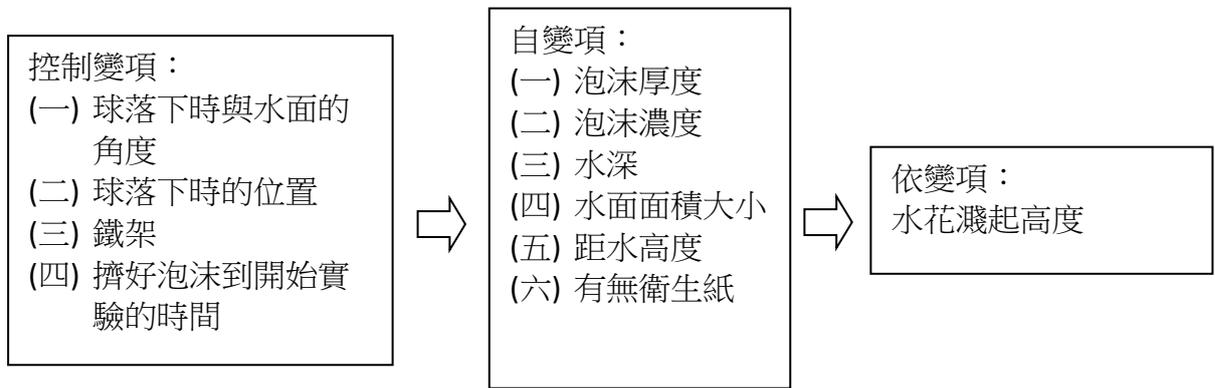
(二) 資料蒐集與分析

1. 觀看攝影機錄製的影片，將收據記錄於 excel
2. 先計算 15 次實驗數據的平均值，再刪除離平均值最遠的五次數值
3. 進行單因子變異數分析，當 $p < 0.05$ 代表具有顯著差異。

七、實驗設計與實驗架構



圖二十五 實驗設計圖



圖二十六 研究架構圖

伍、研究結果：

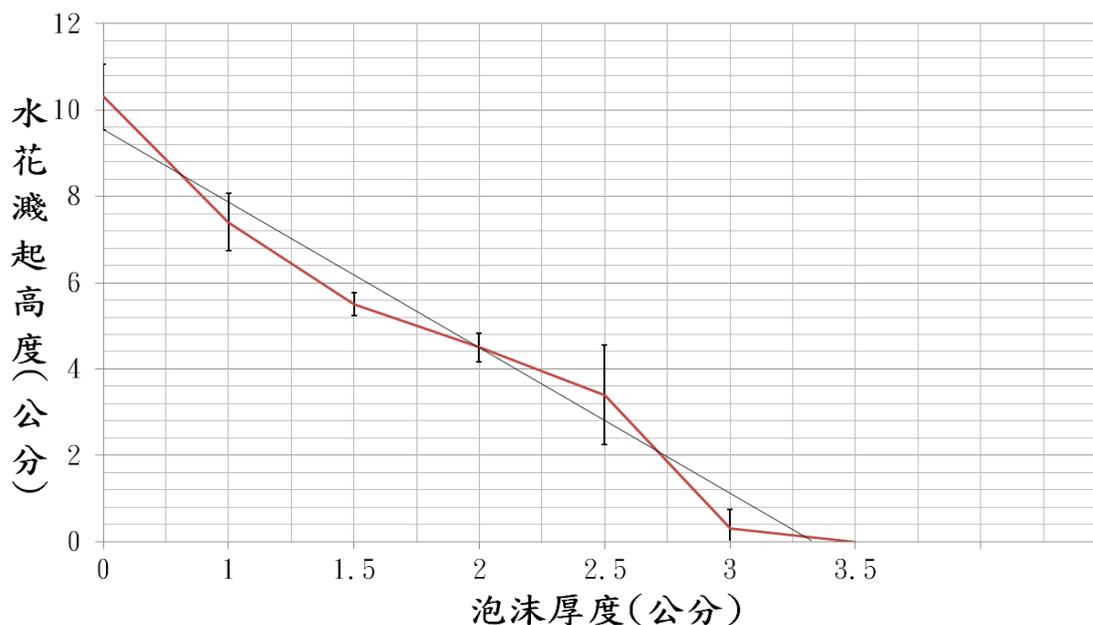
一、不同泡沫厚度對水花濺起高度之影響

(一) 以錄影機分析不同泡沫厚度對水花濺起高度的實驗結果，如圖二十七所示。可以發現隨著泡沫厚度的增加，水花濺起高度會隨之減少，且當泡沫厚度為 3.5 時，已經完全沒有水花濺起，可見得泡沫的厚度很明顯地會影響到水花的高度。

表一 不同泡沫厚度對水花濺起高度之影響

泡沫厚度 (cm)	實驗次數	水花濺起高度 (cm)
0.0	15	10.3 ± 0.7
1.0	15	7.4 ± 0.7
1.5	15	5.5 ± 0.3
2.0	15	4.5 ± 0.3
2.5	15	3.4 ± 1.2
3.0	15	0.3 ± 0.4
3.5	15	0.0 ± 0.0

(二) 由不同泡沫厚度的實驗數據取得回歸曲線，如圖二十七所示，其方程式為 $y = -3.13429x + 10.45714$ ，其中 y 為水花濺起高度， x 為泡沫厚度。我們亦可由方程式得知，當 $y=0$ ， x 大約=3.33，亦即在水深 6cm 的時，3.33cm 的泡沫就能有效防止水花濺起。



圖二十七 不同泡沫厚度，平均濺起的水花高度與其平均值

(三) 我們進一步利用高速攝影機的影像截圖，分析球在不同泡沫厚度的實驗中，其產生的空氣柱長度是否具有差異。結果表二所示，可發現在泡沫厚度 1 公分時，產生的空氣柱長度為 4.7 公分，當泡沫厚度 3 公分時，產生的空氣柱長度為 0.8 公分，由此得知，當泡沫越厚，空氣柱就會越難形成。

表二 不同泡沫厚度的空氣柱高度

條件	實驗圖片	結果
泡沫厚度 1 公分	 <p>圖二十八</p>	空氣柱高 4.7 公分
泡沫厚度 3 公分	 <p>圖二十九</p>	空氣柱高 0.8 公分

二、不同泡沫濃度對水花濺起高度之影響

(一) 以錄影機分析不同泡沫濃度對水花濺起高度的實驗結果如圖三十所示，可以發現隨著泡沫濃度的增加，水花濺起高度會隨之減少，且當泡沫濃度為 3.5 時，已經完全沒有水花濺起，可見得泡沫的厚度很明顯地會影響到水花的高度。

表三 不同泡沫濃度對水花濺起高度之影響

泡沫濃度 (%)	實驗次數	水花濺起高度 (cm)
0.0	15	10.3±0.75
10.0	15	9.7 ± 3.35
15.0	15	8.2 ± 2.2
20.0	15	4 ± 2.18
25.0	15	2.4 ± 0.81
33.0	15	2.2 ± 0.78

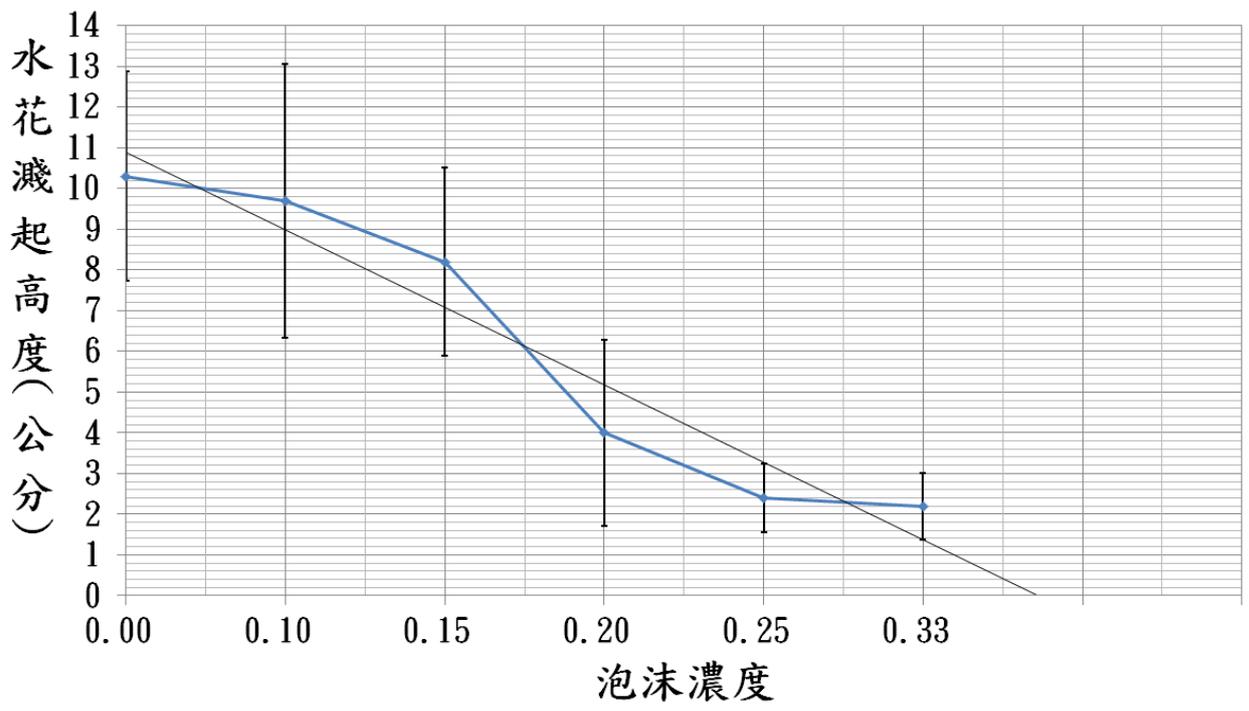
(二) 由表四可得知泡沫濃度會影響水花濺起的高度。

表四 比較不同泡沫濃度間的差異

不同泡沫濃度	顯著性	結果
整體項目	$p < 0.05$	具顯著差異
25%:33%	$p > 0.05$	無差異性
20%:25%	$p > 0.05$	無差異性
15%:20%	$p < 0.05$	具顯著差異
10%:20%	$p < 0.05$	具顯著差異
10%:15%	$p > 0.05$	無差異性

(三) 由不同泡沫濃度的實驗數據取得回歸曲線，如圖三十所示，其方程式為 $y = -$

$29.68447 + 11.22917x$ ，其中 y 為水花濺起高度， x 為泡沫濃度。我們亦可由方程式得知，當 $y=0$ ， x 大約=0.378，亦即在水深 6cm 泡沫 2cm 時，37.8%的泡沫就能有效防止水花濺起。由圖三十可得知，泡沫濃度越濃（在能擠得出泡沫的範圍內）濺起的水花較低，濃度 10%，濺起高度大約 9.7 公分；濃度 15%，濺起高度大約是 8.2 公分；濃度 20%，濺起高度大約是 4 公分；濃度 25%，濺起高度大約 2.4 公分；濃度 33%，濺起高度大約 2.2 公分。



圖三十 不同泡沫濃度，平均濺起的水花高度與其標準差

三、不同的水深對水花濺起高度之影響

(一) 以錄影機分析不同泡沫濃度對水花濺起高度的實驗結果如圖三十一所示，可以發現隨著水深的增加，水花濺起高度會隨之增高。

表五 不同水深對水花濺起高度之影響

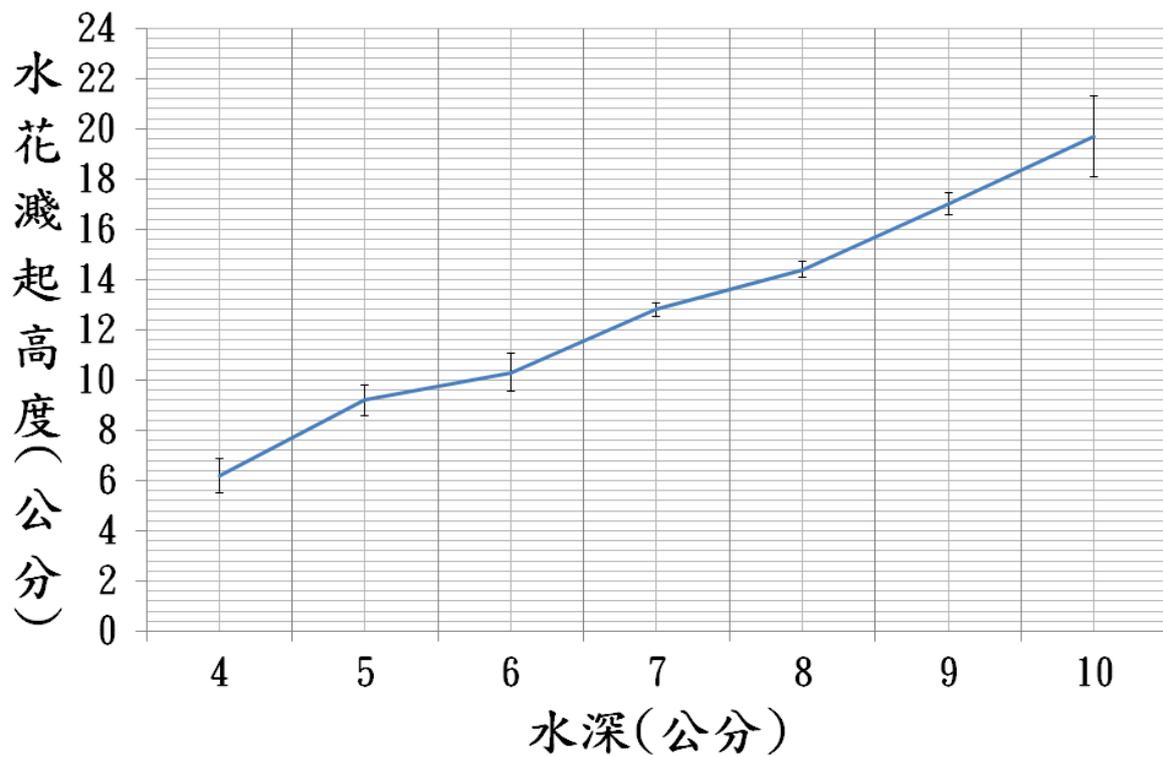
水深 (cm)	實驗次數	水花濺起高度 (cm)
4.0	15	6.2 ±0.69
5.0	15	9.2 ±0.60
6.0	15	10.3 ±0.75
7.0	15	12.8 ±0.24
8.0	15	14.4 ±0.31
9.0	15	17 ±0.44
10.0	15	19.7 ±1.58

(二) 由表六可得知，不同水深，濺起水花的高低是有明顯的差異的，而水深是影響水花濺起的最主要因素。

表六 比較不同水深間的差異性

不同水深	顯著性	結果
整體項目	$p < 0.05$	具顯著差異
4cm:5cm	$p < 0.05$	具顯著差異
5cm:6cm	$p < 0.05$	具顯著差異
6cm:7cm	$p < 0.05$	具顯著差異
7cm:8cm	$p < 0.05$	具顯著差異
8cm:9cm	$p < 0.05$	具顯著差異
9cm:10cm	$p < 0.05$	具顯著差異

(三) 由圖三十一可得知，水越深，水花濺起高度相對也會比較高，水深 4 公分，水花濺起平均高度大約是 6.2 公分；水深 5 公分，水花濺起平均高度大約是 9.2 公分；水深 6 公分，水花濺起平均高度大約是 10.3 公分；水深 7 公分，水花濺起平均高度大約是 12.8 公分；水深 8 公分，水花濺起平均高度大約是 14.4 公分，水深 9 公分，水花濺起平均高度大約是 17 公分；水深 10cm，濺起高大約是 20 公分。



圖三十一 不同水深，平均濺起的水花高度與其標準差

(四) 我們進一步利用高速攝影機的影像截圖，分析球在不同泡沫厚度的實驗中，其產生的空氣柱長度是否具有差異。結果表七所示，可發現在水 4 公分時，產生的空氣柱長度為 4 公分，當水深 6 公分時，產生的空氣柱長度為 5.6 公分，當水深 10 公分時，產生的空氣柱長度為 7.5 公分，由此得知，當水越淺，空氣柱就會越難形成。

表七 不同水深的空氣柱高度

條件	實驗照片	結果
水 4 公分距水 14 公分	 <p data-bbox="730 636 865 672">圖三十二</p>	空氣柱大約 4 公分
水 6 公分距水 14 公分	 <p data-bbox="730 1075 865 1111">圖三十三</p>	空氣柱大約 5.6 公分
水 10 公分距水 14 公分	 <p data-bbox="730 1514 865 1550">圖三十四</p>	空氣柱大約 7.5 公分

四、不同水面面積對水花濺起高度之影響

(一) 以錄影機分析不同泡沫濃度對水花濺起高度的實驗結果如圖三十五所示，可以發現隨著水面面積的增加，水花濺起高度會隨之增加。

表八 不同水面面積對水花濺起高度之影響

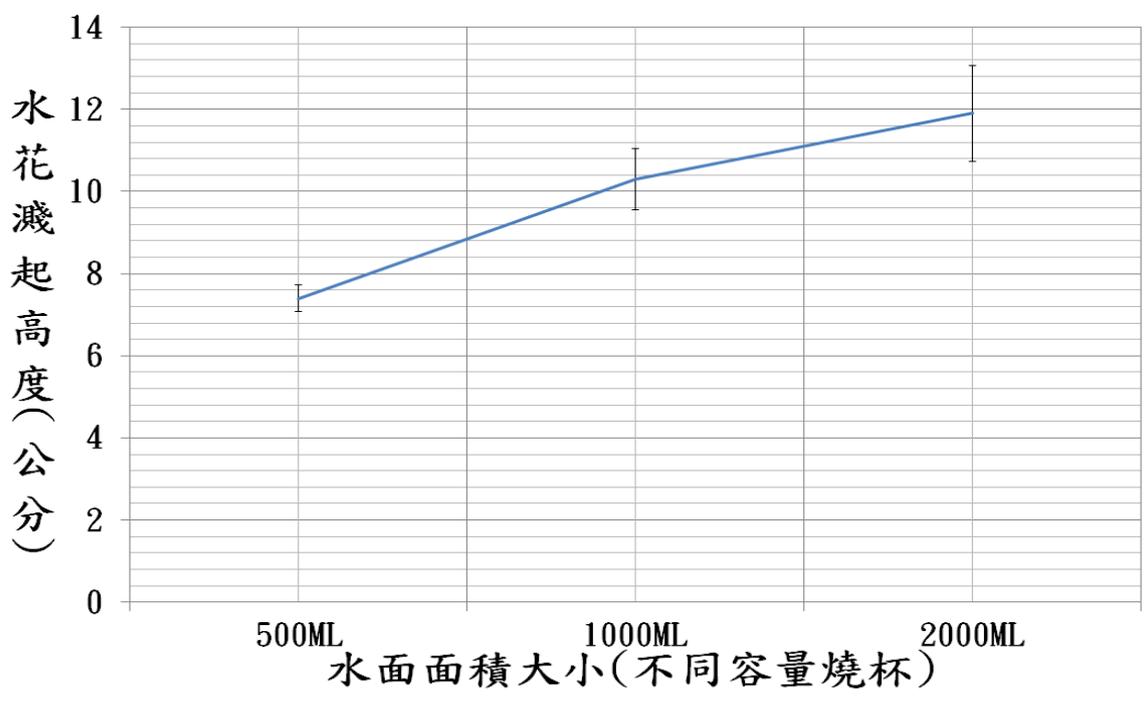
水面面積	實驗次數	水花濺起高度 (cm)
500ml	15	7.4 ±0.33
1000ml	15	10.3 ±0.75
2000ml	15	11.9 ±1.16

(二) 由表九，可得知水杯大小會影響水花濺起高度。

表九 比較不同容器大小間的差異

不同水面面積	顯著性	結果
整體項目	$p < 0.05$	具顯著差異
500ml:1000ml	$p < 0.05$	具顯著差異
1000ml:2000ml	$p < 0.05$	具顯著差異

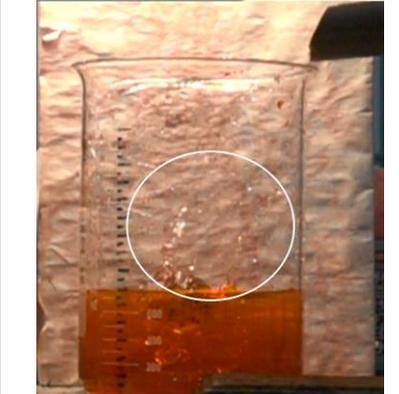
(三) 由圖三十五可得知，在底面積面積 34.63cm²時，水花濺起高度大約是 7 公分；底面積 51.77cm²時，水花濺起高度大約是 10 公分；底面積 85.69cm²時，水花濺起高度大約是 12 公分。



圖三十五 不同水面面積，平均濺起的水花高度與其標準差

(四) 我們進一步利用高速攝影機的影像截圖，分析球在不同水面面積的實驗中，其產生的空氣柱長度是否具有差異。結果表十所示，可發現在水面面積 34.63cm^2 時，產生的空氣柱長度為 5.6 公分，當水面面積 85.69cm^2 時，產生的空氣柱長度為 5.6 公分水面面積越的大與小，與空氣柱無關。

表十 不同水面面積的空氣柱高度

條件	實驗照片	結果
面積大約： 34.63cm^2	 <p style="text-align: center;">圖三十六</p>	黑色圓圈是落下的水花、 白色圓圈是濺起的水花 空氣柱大約 5.6 公分
面積大約： 85.69cm^2	 <p style="text-align: center;">圖三十七</p>	圓圈內是兩次濺起的水花 空氣柱大約 5.6 公分

五、不同距水高度對水花濺起高度之影響

(一) 以錄影機分析不同距水高度對水花濺起高度的實驗結果如圖三十八所示，可以發現隨著距水高度的增加，水花濺起高度會隨之增加。

表十一 不同距水高度對水花濺起高度之影響

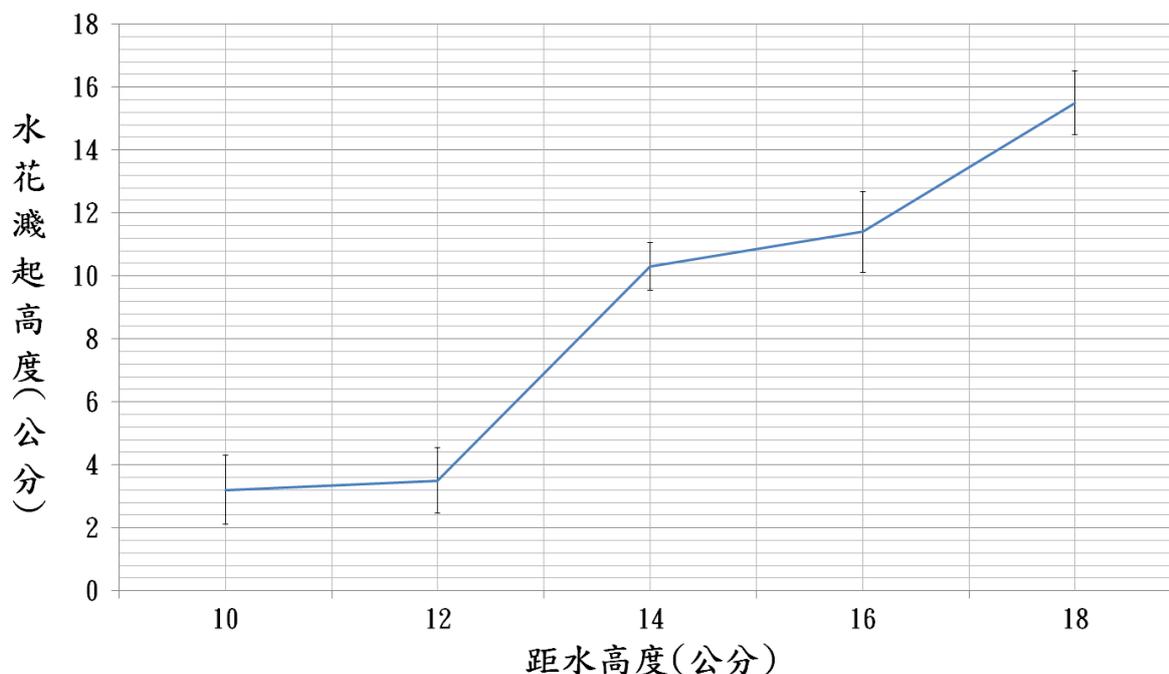
距水高度 (cm)	實驗次數	水花濺起高度 (cm)
10	15	3.2±1.09
12	15	3.5±1.04
14	15	10.3±0.75
16	15	11.4±1.27
18	15	15.5±1.01

(二) 由表十二可得知，除了 10cm:12cm 的未有明顯差異性，其餘的都有差異性，而距水高度是影響水花濺起高度的因素之一。

表十二 比較不同距水高度間的差異性

不同距水高度	顯著性	結果
整體項目	$p < 0.05$	具顯著差異
10cm:12cm	$p > 0.05$	無差異性
12cm:14cm	$p < 0.05$	具顯著差異
14cm:16cm	$p < 0.05$	具顯著差異
16cm:18cm	$p < 0.05$	具顯著差異

(三) 由圖三十八可得知，水越深濺起的水花較高，水深高度 10 公分，大約濺起 3.2 公分；水深高度 12 公分，大約濺起 3.5 公分；水深高度 14 公分，大約濺起 10.3 公分；水深高度 16 公分，大約濺起 11.4 公分；水深高度 18 公分，大約濺起 15.5 公分。



圖三十八 不同距水高度，平均濺起的水花高度與其標準差

(四) 我們進一步利用高速攝影機的影像截圖，分析球在不同距水高度的實驗中，其產生的空氣柱長度是否具有差異。結果表十三所示，可發現在距水高度 10 公分時，產生的空氣柱長度為 4.3 公分，當水面面積 18 公分時，產生的空氣柱長度為 6 公分。由此可知，距水高度越高，空氣柱越大。

表十三 不同距水高度的空氣柱高度

條件	實驗照片	結果
水 6 公分距水 10 公分	 圖三十九	空氣柱 4.3 公分
水 6 公分距水 18 公分	 圖四十	空氣柱 6 公分

六、有無衛生紙對水花濺起高度之影響

(一) 以錄影機分析有無衛生紙對水花濺起高度的實驗結果如圖四十一所示，可以發現隨著有衛生紙且未剪過的效果最好。

表十四 有無衛生紙對水花濺起高度之影響

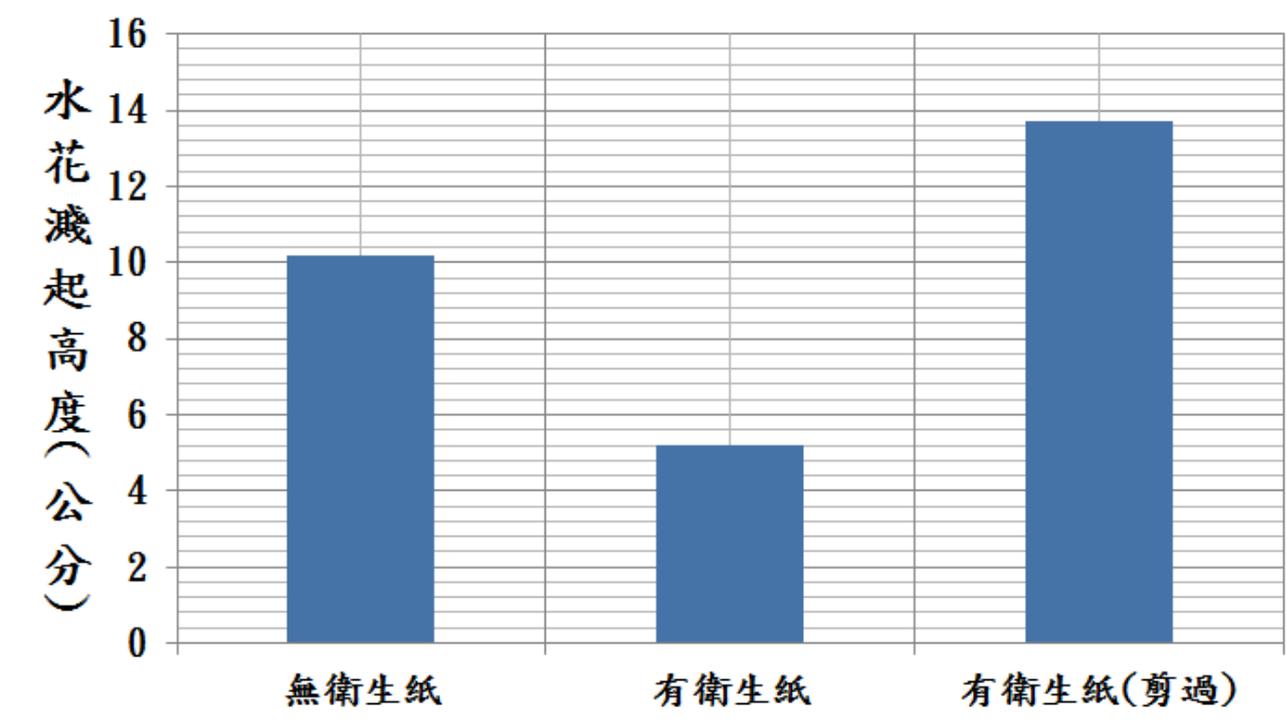
有無衛生紙	實驗次數	水花濺起高度 (cm)
無	15	10.3±0.75
有 (剪過)	15	13.7±2.28
有 (未剪過)	15	5.2±0.23

(二) 由表十五可得知，放置衛生紙能有效減低水花濺起高度。

表十五 比較有無衛生紙間的差異性

有無衛生紙	顯著性	結果
有衛生紙：無衛生紙	$p < 0.05$	具顯著差異
剪過:未剪過	$p < 0.05$	具顯著差異

(三) 由圖四十一可得知，無衛生紙的，水花濺起高度 10.3 公分；無衛生紙的，水花濺起高度 5.2 公分。



圖四十一 有無衛生紙平均濺起的水花高度

(四) 我們進一步利用高速攝影機的影像截圖，分析球在有無衛生紙的實驗中，其產生的空氣柱長度是否具有差異。結果表十六所示，可發現在無衛生紙時，產生的空氣柱長度為

5.6 公分，且十分明顯；當衛生紙未剪過時，產生的空氣柱及不完整，無法測量其長度；當衛生紙被剪過時，空氣柱明顯，高 5.8 公分，且衛生紙被甩起。由此可知，未剪過衛生紙能影響空氣柱形成。

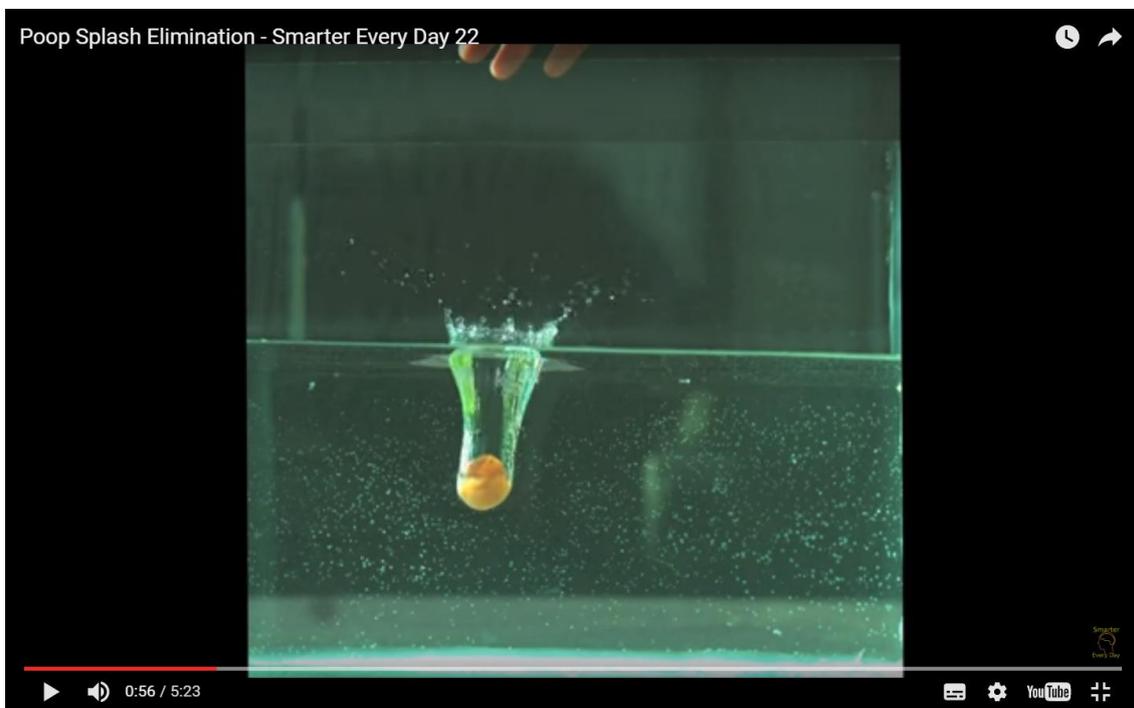
表十六 有無衛生紙的空氣柱高度

條件	實驗照片	結果
無衛生紙	 <p style="text-align: center;">圖四十二</p>	空氣柱明顯 空氣柱高 5.6 公分
有衛生紙(無剪過)	 <p style="text-align: center;">圖四十三</p>	空氣柱極不完整
有衛生紙(剪過)	 <p style="text-align: center;">圖四十四</p>	空氣柱明顯 空氣柱高 5.8 公分 衛生紙被甩起

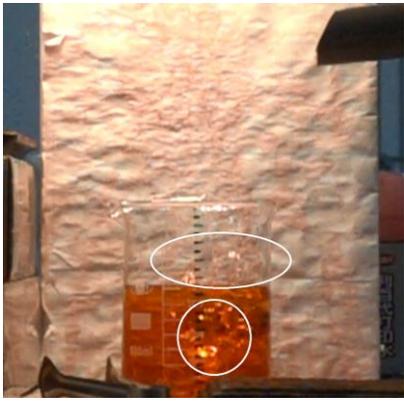
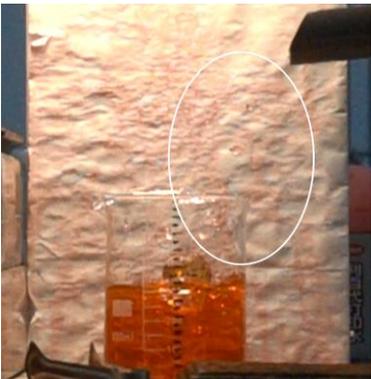
陸、討論

一、本研究的實驗一主要在探討不同泡沫厚度對水花濺起高度之影響，結果發現水花的濺起高度會隨著泡沫厚度的增加而降低。實驗中我們發現了水花濺起原因，是因為有重物掉到水中時，會造成水面上的凹陷處，而因為這個空洞的空氣無處可走，又因為壓力要達到平衡連續狀態就只好把沉下去的水拉回來，也就是我們所看到的水花。(下圖擷取自：

<http://www.teepr.com/296297/annezheng/%E4%BB%A5%E5%BE%8C%E4%BD%A0%E5%86%8D%E4%B9%9F%E4%B8%8D%E6%80%95%E4%B8%8A%E5%A4%A7%E8%99%9F%E6%99%82%E6%B0%B4%E8%8A%B1%E6%BF%BA%E8%B5%B7%E4%BA%86%EF%BC%8C%E5%9B%A0%E7%82%BA%E7%A7%91%E5%AD%B8%E5%AE%B6/#>



我們也觀察到水花濺起時的水花有分三個部分，第一部份是在球碰到水面的當下（圖四十六），第二部分是重物掉進水裡的時候，力量會散開，但因為碰到燒杯杯壁，所以又反彈回來形成第二次的水花（圖四十七），而第三次，是重物掉進水裡的時候，會產生一處凹陷(空氣柱)，當凹陷閉合時，因為能量匯聚到中心一點而在水下形成一個小氣泡，同時形成若干個很小的液滴高速向上飛出就會形成水花（圖四十八）。這種小液滴能飛的高度往往可以超過初始水花高度，也是我們最主要測量的。

條件(以 500ml 的杯為例)	實驗照片	結果
第一次水花濺起	 <p data-bbox="730 674 863 712">圖四十六</p>	這不是最主要的水花
第二次水花濺起	 <p data-bbox="730 1173 863 1211">圖四十七</p>	下面仍有空氣柱，上面卻有水花濺起，但又與第一次水花濺起時間有落差
第三次水花濺起	 <p data-bbox="730 1673 863 1711">圖四十八</p>	彈最高的水花

而當泡沫厚度大約在 3.33cm 時，就幾乎不會濺起水花。針對實驗結果的解釋部分，我們推測泡沫厚度會影響水花濺起高度的可能原因有三項，分別為：（一）泡沫能吸收液體搖晃時的力量：我們有觀察到若泡沫的厚度在 3.33 公分以上，當球自由落體進入水面時，泡沫幾乎是不會動的，所以推測 3.33 公分的泡沫已經可以吸收球入水造成液體搖晃的力量，且可將該力與燒杯邊緣的摩擦力抵消，即使再增加泡沫的厚度，防濺的效果也

不會增加。(二) 泡沫本身具有阻尼作用的表面特性，可以減緩球進入水的力量，減少水花濺起的高度。(三) 泡沫平鋪於水面上，可以形成一層阻隔，阻止水花濺起。

(四) 本研究的泡沫是由清潔劑產生，而清潔劑本身即為界面活性劑，會破壞水的表面張力，當水的表面張力隨之變小，造成水花濺起高度較低。(五) 我們從高速攝影機拍攝的影片中發現，當泡沫的厚度愈厚，所產生的空氣柱長度愈短，推測泡沫可以阻止空氣柱的形成，而由前人的研究已知，當球落入水下時產生的空氣柱是造成水花濺起的主要原因，所以當泡沫越厚產生的空氣柱愈短，造成水花濺起高度也越低。

二、本研究的實驗二主要在探討不同泡沫濃度對水花濺起高度之影響，結果發現水花的濺起高度會隨著泡沫的濃度而降低，在濃度 20% 時，降低濺起水花高度的效果就已非常良好，且與 25% 及 33% 的數據不具顯著差異。在進行實驗之前，我們推測泡沫濃度越濃，越能防止水花濺起，因為泡沫間的空隙小、黏性強，加上產生的泡沫小。在泡沫濃度的實驗中，我們進行了多種濃度泡沫水的測試，包含 10%、15%、20%、25% 與 33%，結果發現整體而言不同濃度組的水花濺起高度具有顯著差異，且濃度越高防濺效果確實有明顯提升，在水 6cm 泡沫厚度 2cm 時，泡沫濃度 37.8% 能使水花完全不會濺起。再經由單因子變異數分析的結果，以及隨之事後比較，發現 10% 與 15% 的防濺效果不具顯著差異，但兩者皆顯著低於 20% 組，而 25% 與 33% 組的水花濺起高度亦與 20% 組無顯著差異。這樣的結果顯示，當且大約在 20% 就能達到最好的效果。而我們所實驗的所有變因濺起水花皆不會超過 17 公分，所以並不需要用到 20% 的，用 10% 的泡沫 2 公分就可以達到水花不會濺到身體的困擾，但因為我們所使用的泡泡機有產生泡泡的限制，所以低於 10% 的時候，所產生的泡泡太稀與前幾次不一樣，並不符合實驗需求，這是研究中的一大限制。

三、本研究的實驗三主要在探討不同水深對水花濺起高度之影響，結果發現水花的濺起高度會隨著水深的增加而增加。在未做實驗前，我們原先以為水越深濺起的水花會比較低，因為水比較深時，下方濺起的水花會在還沒出水面就被阻擋了，因此濺起水花就會比較低。然而，分析實驗數據後，結果卻呈現出水深與水花的高度呈現相同的趨勢，在水深 10 公分內，當水深愈深水花就愈高。除此之外，我們亦檢示高速攝影機錄製的影片，結果發現當水深較淺時，形成的空氣柱長度較短，空氣柱較難形成也較不完整，因而濺起的水花高度相對就會較低。為了將實驗三的結果應用於我們平時使用的坐式馬桶，我們先測量坐式馬桶的水深，以及臀部與水面的距離，結果發現水深大約為 10cm，且我們坐在馬桶上時離馬桶水的距離大約是 17cm，若比對實驗三在水深 10 公分的結

果，發現水花濺起高度大約為 20 公分，超過臀部與水面的距離，因此在上廁所時被水花濺到是相當正常的事，與本研究的實驗結果相符。

基於實驗三的結果，我們可以建議製作馬桶的廠商，在製作馬桶時可以將水深減少至 8 公分以下，可以減少使用者被水花濺到的機會。相同的，使用者在挑選馬桶時，也可以先量測水深，儘量挑選水深較淺的馬桶，可以讓使用者減少許多不適的機會。

四、本研究的實驗四主要在探討不同水面面積對水花濺起高度之影響，結果發現水花的濺起高度會隨著水面面積的增加而增加。在實驗之前，我們原以為水面截面積較大者濺起的水花會比較低，因為球落下的力會被水杯擴散，而截面積越大，就應該會消失較多的力，反彈回來的水花就會比較低。然而，分析實驗四的數據後卻發現，以我們的實驗器材來比較，水面的截面積越小，濺起水花會越低，水面的截面積越大，濺起的水花會越高，且具有顯著差異。

為了解釋實驗四的結果，我們進行實驗影片的觀察與分析，發現 2000ml 燒杯的第二次和第三次水花濺起的時間非常接近，我們推測可能水出去傳回的波的時間剛好趕上第三次水花濺起，兩次的力加在一起，進而造成水花濺起較高；相同的，我們也觀察與分析 500ml 的影片，結果在影片中發現 500ml 燒杯的第二次水花落下時，第三次的水花正剛好濺起，我們推測這可能是影響水花濺起高度的主要原因，但尚待更進一步的研究來確認，或許可以整理出水面面積、波速、波長與水花濺起的關係。

五、本研究的實驗五主要在探討不同距水高度對水花濺起高度之影響，結果發現水花的濺起高度會隨著距水高度的增加而增加。在實驗之前，我們原先推測距水高度會影響到水花的高度，當距水高度越高時，水花濺起高度就會比較高，主要的原因是因為球在較高的高度時具有的位能較大，當球落到水面時轉換產生的動能相對起來也較大，所以濺起的水花就比較高。依據實驗五的數據分析，實驗的結果如何我們先前的預測大致相同。當進一步分析實驗錄製的影片，我們發現距水高度愈高的球，當自由落體時產生的空氣柱較長，距水高度愈低的球，則產生較短的空氣柱，因此可以由產生空氣柱的長度來解釋距水高度對於水花高度的影響，在距水高度 10 到 18 公分的範圍內，當距水高度愈高，形成的空氣柱愈長，可以濺起較高的水花，反之亦然。即使由實驗五的結果可知距水高度與水花濺起高度呈現相同的趨勢，但距水高度 10 公分與 12 公分的水花濺起高度相當接近，且不具顯著差異。推測可能的原因是因為動能與速度為平方的關係

($E=1/2mv^2$)，而自由落體的時間亦與距水高度有關，因此，接下來應該可以整理更多的研究數據，彙整出更精確的公式，說明高度與水花濺起高度的關係。

六、本研究的實驗六主要在探討有無衛生紙對水花濺起高度之影響，結果發現水花的濺起高度確實會受到衛生紙有無的影響。雖然我們以為衛生紙能防止水花濺起是大家都知道的事，然而，在本研究的研究數據中發現，即使都有放置衛生紙，但衛生紙的形狀竟然會影響到水花濺起的高度。若與未放置衛生紙的組別（ 10.3 ± 0.75 ）相比較，我們發現直接將衛生紙放在水面上，可以有效減少水花的濺起高度（ 5.2 ± 0.23 ），但若將衛生紙剪成與水面面積一樣的形狀與大小後放置於水面，則非但沒有降低水花的高度，反而水花的高度還上升了許多（ 13.7 ± 2.28 ）。針對這樣的現象，我們認為直接將衛生紙放置於水面上時，因為形狀並不相同，因此會有部分衛生紙黏附於燒杯壁上，形成了一股拉力，因此這個拉力可以降低水花高度的可能原因有三種：（一）減緩球進入水中的速度、（二）能阻擋水花濺起、（三）影響空氣柱的形成。另外，針對將衛生紙剪成和燒杯一樣大小的實驗，發現剪過的不但無法達到效果，濺起的水花還比無放衛生紙的高，我們推測可能的原因為為剪過的衛生紙沒有與杯壁黏附，沒有足夠的拉力，當球落下時反而把衛生紙甩上來造成水花濺起（圖四十九），但更精確的原因與解釋仍有待進一步的實驗來證實。



圖四十九－衛生紙被甩起

七、在減少實驗誤差的部分，原本我們是用慕絲瓶來產生泡沫，但是我們的消耗量很大，實驗時間會非常的長，而且慕絲瓶所產生的泡沫大小非常不一致、有時產生的泡沫也會比較稀，所以後來我們換用自動泡沫給皂機來產生泡沫，自動泡沫給皂機產生的泡沫大小比較一致而且大部分的泡沫都比慕絲瓶擠出來的還要小，也比較有效率。

八、關於本研究的反思，我們認為這次實驗的一大缺失就是，一開始我們決定利用彈力球來當作實驗中的重物，但後來檢視影片時才發現，彈力球在水裡會浮在水面上，妨礙到我們觀察，而且浮上來時還會帶起水花，且有時彈力球碰到水面還會彈起（圖五十），造成影響實驗結果的變因因而增加。



圖五十一—彈力球碰到水面會彈起照片

九、為了減少實驗的誤差，我們每五次就須測量其角度、高度、落下位置，因為控制變因的關係，在沒有泡沫的實驗中我們並不會更換水，但在有泡沫的實驗中，每一次都需重新換水，在影片中能明顯看到球落下時會把許多泡沫帶到水裡(圖五十一)，而且時間越久，泡沫也會漸漸消失，也因為這個原因，每次擠好泡沫時我們都會立刻做實驗，在泡沫最好的狀態時達到最好的效果。在未來，或許我們也可以針對泡沫會隨時間減少的特性，設計相關的實驗，探討時間對於水花濺起高度的影響，或更進一步將泡泡落實於馬桶時，可以計算多久的時間後需要在馬桶的水面上再補充泡沫。



圖五十一—球落下時把泡沫帶到水裡照片

十、未來我們希望能利用搖晃的方式來檢測泡沫的防濺能力。因為要如何安全運送可燃液體是十分重要的議題，若能將覆蓋泡沫應用於防止液體噴濺上，說不定能應用在運送液化石油氣，甚至是火箭的燃料槽中，大大降低這些易燃物的危險性。

十一、綜合上述的實驗結果與討論，我們建議製作馬桶的廠商，應當考量降低水深、距水高度還有減少水面面積大小，在水 7 公分距水 14 公分或者是水 6 公分距水 18 公分能完全不被水花濺到，而泡沫濃度與厚度，在泡沫濃度 10% 泡沫厚度 2 公分水深 6 公分距水 14 公分的情況下也能防止水花濺到身體。

柒、結論

一、在本研究中，我們觀察到球落入水面時會在水面下產生空氣柱，空氣柱的生成與水花濺

起的高度有關，球落下時形成的空氣柱越長，濺起的水花越高。

- 二、在本研究中觀察到泡沫厚度越厚越能有效防止水花濺起，最主要的原因是當泡沫越厚時，球落下產生的空氣柱即愈短，造成水花濺起高度也越低。
- 三、在泡沫濃度的實驗中，我們發現泡沫濃度越高水花濺起的高度越低，但若以成本及實用的角度上來看，以泡沫濃度 10%，高度 2 公分的條件即可有效地防止污物噴濺。
- 四、在探討不同水深高度對水花噴濺的影響時，我們發現水深越深濺起的水花越高。原因是當水水深較淺時，形成的空氣柱長度較短，空氣柱較難形成也較不完整，因而濺起的水花高度相對就會較低。
- 五、在探討不同水面面積對水花濺起高度之影響，結果發現水花的濺起高度會隨著水面面積的增加而增加。水花濺起的高度依序為：2000ml>1000ml>500ml。
- 六、在探討不同距水高度對水花濺起高度之影響時，結果發現在距水高度 10 到 18 公分的範圍內，水花的濺起高度會隨著距水高度的增加而增加。原因是當距水高度愈高，形成的空氣柱愈長，可以濺起較高的水花，反之亦然。
- 七、本研究中探討有無衛生紙對水花濺起高度之影響，結果發現在水面上覆蓋衛生紙能有效地降低水花的濺起高度，但衛生紙需有部分黏附著於杯壁上才有效果。

捌、參考資料及其他

- 一、何梅慈（2015 年）。大號小號有了這台都超威。取自：
<http://www.appledaily.com.tw/realtimenews/article/new/20150518/612352/>
- 二、匿名（2014 年）。馬桶 feel 微米泡泡機 讓你待在廁所裡不想出來！。取自：
<http://www.epochtimes.com/b5/14/7/18/n4203315.htm>
- 三、Anne（2005 年）。每次大號時水花都會濺起？！科學家要教你怎麼做才能不被便便水給弄髒！。取自：
<http://www.teep.com/296297/annezheng/%E4%BB%A5%E5%BE%8C%E4%BD%A0%E5%86%8D%E4%B9%9F%E4%B8%8D%E6%80%95%E4%B8%8A%E5%A4%A7%E8%99%9F%E6%99%82%E6%B0%B4%E8%8A%B1%E6%BF%BA%E8%B5%B7%E4%BA%86%EF%BC%8C%E5%9B%A0%E7%82%BA%E7%A7%91%E5%AD%B8%E5%AE%B6/#>
- 四、Impel（2016 年）。同一高度自由下落的水，感覺體積越大，反濺的越高。這個結論正確嗎？。取自：<http://www.guokr.com/question/625207/>
- 五、Sean Lai（2013 年 8 月 26 日）。銓昇科技微米泡泡機。取自：
<https://www.youtube.com/watch?v=GSBz7KNbbHY>

【評語】 030109

研究主題明確，具潛在實用價值，有關應用在馬桶，器材與設計過於理想化，但實驗結果適用於一般濺水情形，數據收集確實，觀察入微，但照片呈現宜加強。分析包括誤差與顯著性估計，推論亦屬合理。

壹、研究動機：

有時當你坐在馬桶上時突然感覺屁股發涼，這到底是怎麼一回事？原來是因為污物掉下去的時候濺起水花，這種感覺令人感到很噁心，但如何解決這個情況也成為令很多人感到煩惱的一個問題。我們查資料後發現，現在有一種機器叫做「微米泡泡機」，就是可以減少水花濺起的裝置，但有些民眾反映效果不是很好，我們推測應該是因為泡沫厚度不足的關係，而之後又發現原來泡沫厚度、泡泡水濃度、水深、距水高度、水面面積和有無衛生紙與水花濺起高度皆有關係，我們對此現象產生了好奇心，從而決定開始研究。

貳、研究目的：

- 一. 探討不同的泡沫厚度對水花濺起高度之影響
- 二. 探討不同濃度的泡泡水所產生的泡沫對水花濺起高度之影響
- 三. 探討不同水深對水花濺起高度之影響
- 四. 探討不同水面面積對水花濺起高度之影響
- 五. 探討不同距水高度對水花濺起高度之影響
- 六. 探討有無衛生紙對水花濺起高度之影響



圖一



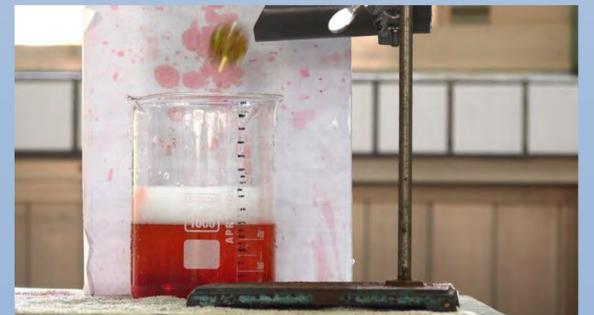
圖二



圖三



圖四



圖五

參、研究器材：

- 一. 燒杯：500毫升、1000毫升、2000毫升
- 二. 水管：控制球落下的傾斜角度
- 三. 鐵架：固定球落下時的距水高度、水管的傾斜角度（圖一）
- 四. 方格紙：測量水花濺起高度
- 五. 傾斜儀：使用手機的app，用以校正水管的傾斜角度（圖二）
- 六. 紅墨水：讓噴濺的水花更容易觀察
- 七. 彈力球：直徑大約3公分
- 八. 抹布：固定每次器具的擺放位置（圖三）
- 九. 白板：打板，記錄實驗用
- 十. 直尺：控制球是否落下的開關
- 十一. 泡沫機(新)、(舊)：自動給泡機（圖四）、慕絲瓶
- 十二. 清潔劑：用以產生泡沫
- 十三. 攝影機：實驗錄影用
- 十四. 高速攝影機：實驗錄影用，每秒1000張影像
- 十五. 衛生紙：實驗變因之一

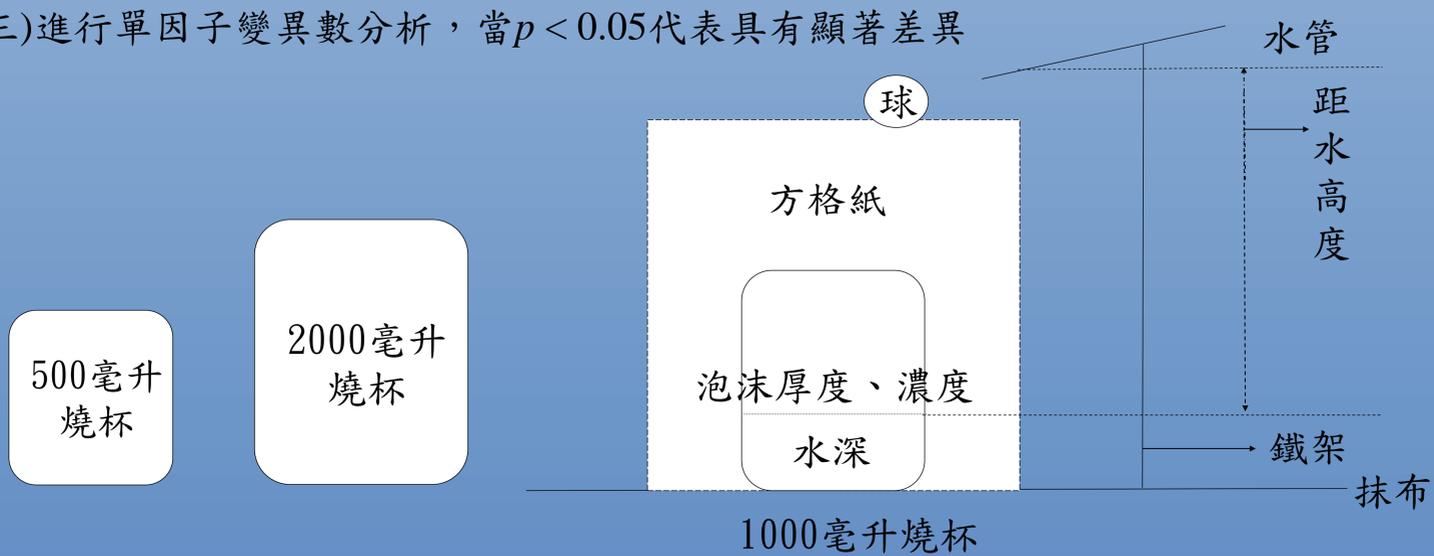
肆、研究方法：

一. 實驗步驟：

- (一) 在燒杯內裝清水並調整水位，再使用紅墨水將其染色
- (二) 調整鐵架距離水面高度
- (三) 配置泡泡水的濃度
- (四) 利用泡沫機將泡沫添加於水面上
- (五) 讓直徑3公分的球落入水中（圖五），實驗裝置示意圖（圖六）
- (六) 用攝影機拍攝水花濺起高度
- (七) 重複實驗15次
- (八) 記錄實驗結果
- (九) 每個不同的實驗條件都重複15次，並記錄實驗數據

二. 資料蒐集與分析

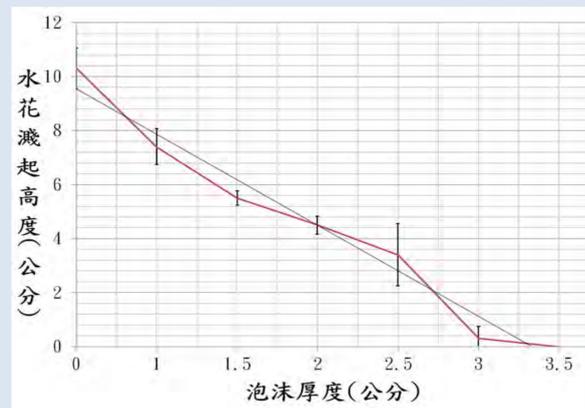
- (一) 觀看攝影機錄製的影片，將數據記錄於excel
- (二) 先計算15次實驗數據的平均值，再刪除離平均值最遠的五次數值
- (三) 進行單因子變異數分析，當 $p < 0.05$ 代表具有顯著差異



圖六 實驗裝置示意圖

伍、研究結果：

一. 不同泡沫厚度對水花濺起高度之影響



圖七 不同泡沫厚度平均濺起的水花高度與其標準差

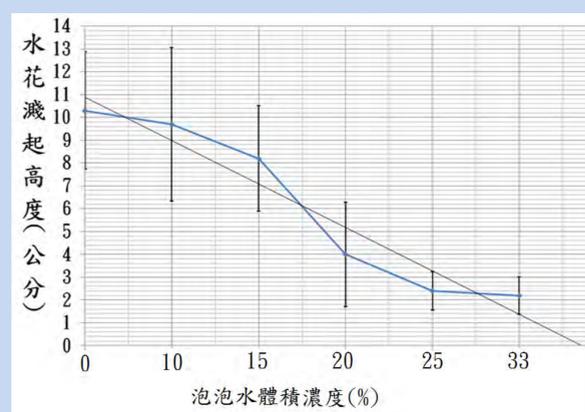


圖八 泡沫厚度1公分

結果：

- (一)隨著泡沫厚度的增加，水花濺起高度會隨之減少，如圖七所示。
- (二)由不同泡沫厚度的實驗數據取得回歸曲線，其方程式為 $y = -3.13429x + 10.45714$ ，其中y為水花濺起高度，x為泡沫厚度。
- (三)水深6公分時，3.33公分的泡沫就能有效防止水花濺起。
- (四)我們進一步利用高速攝影機的影像擷圖，發現在泡沫厚度1公分時，產生的空氣柱長度為4.7公分，當泡沫厚度3公分時，產生的空氣柱長度為0.8公分。由此得知，當泡沫越厚，空氣柱就會越難形成。
- (五)由圖八的白色圓圈內可以發現，空氣柱雖然不是很完整但還是能明顯看出。

二. 不同濃度泡泡水所產生的泡沫對水花濺起高度之影響

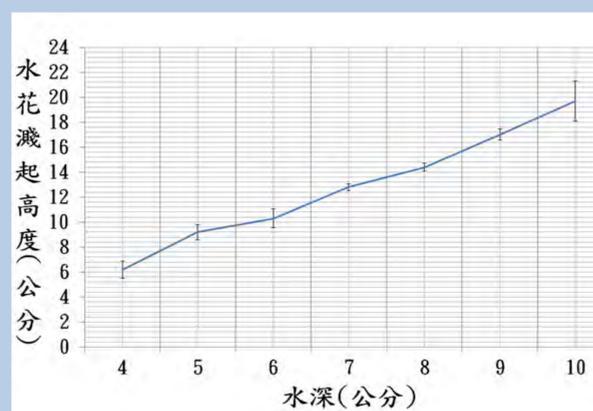


圖九 不同濃度泡泡水所產生的泡沫平均濺起的水花高度與其標準差

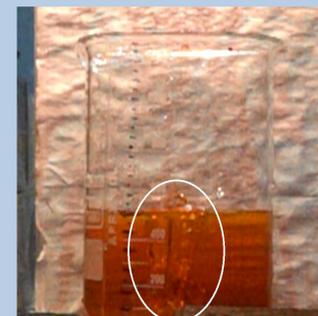
結果：

- (一)隨著泡泡水濃度的增加，水花濺起高度會隨之減少，如圖九所示。
- (二)由不同泡泡水濃度的實驗數據取得回歸曲線，其方程式為 $y = -29.68447x + 11.22917$ ，其中y為水花濺起高度，x為泡泡水濃度。
- (三)水深6公分泡沫2公分時，37.8%的泡泡水濃度就能有效防止水花濺起。
- (四)濃度10%，濺起高度大約9.7公分；濃度15%，濺起高度大約是8.2公分；濃度20%，濺起高度大約是4公分；濃度25%，濺起高度大約2.5公分；濃度33%，濺起高度大約2.2公分。

三. 不同的水深對水花濺起高度之影響



圖十 不同水深平均濺起的水花高度與其標準差

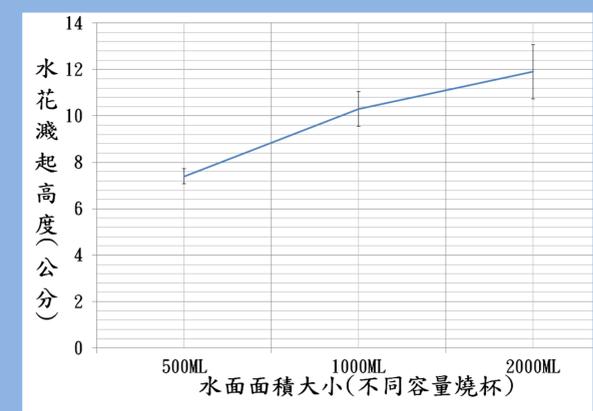


圖十一 水6公分距水14公分

結果：

- (一)水越深，水花濺起高度相對也會比較高，如圖十所示。
- (二)水深4公分，水花濺起平均高度大約是6.2公分；水深5公分，水花濺起平均高度大約是9.2公分；水深6公分，水花濺起平均高度大約是10.3公分；水深7公分，水花濺起平均高度大約是12.8公分；水深8公分，水花濺起平均高度大約是14.4公分，水深9公分，水花濺起平均高度大約是17公分；水深10公分，水花濺起平均高度大約是20公分。
- (三)我們進一步利用高速攝影機的影像擷圖，發現在水深4公分時，產生的空氣柱長度為4公分，當水深6公分時，產生的空氣柱長度為5.6公分，當水深10公分時，產生的空氣柱長度為7.5公分，由此得知，當水越淺，空氣柱就會越難形成。
- (四)由圖十一的白色圓圈內，發現有明顯的空氣柱形成。

四. 不同水面面積對水花濺起高度之影響

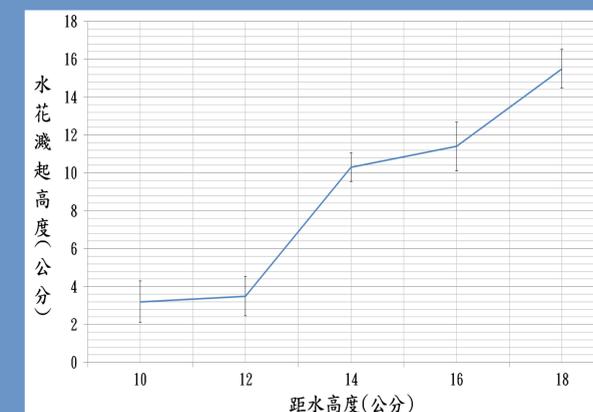


圖十二 不同水面面積平均濺起的水花高度與其標準差

結果：

- (一)水面面積大小會影響水花濺起高度，如圖十二所示。
- (二)在水面面積34.63平方公分時，水花濺起高度大約是7公分；水面面積51.77平方公分時，水花濺起高度大約是10公分；水面面積85.69平方公分時，水花濺起高度大約是12公分。
- (三)我們進一步利用高速攝影機的影像擷圖，發現在水面面積34.63平方公分時，產生的空氣柱長度為5.6公分，當水面面積85.69平方公分時，產生的空氣柱長度為5.6公分，水面面積的大小與產生空氣柱長度無關。

五. 不同距水高度對水花濺起高度之影響



圖十三 不同距水高度平均濺起的水花高度與其標準差

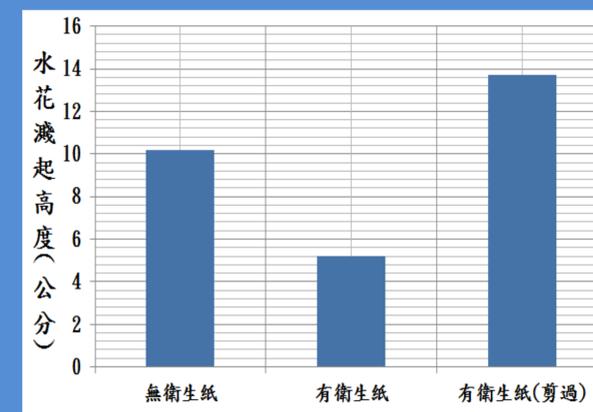


圖十四 水6公分距水10公分

結果：

- (一)距水高度越高濺起的水花較高，如圖十三所示。
- (二)距水高度10公分，大約濺起3.2公分；距水高度12公分，大約濺起3.5公分；距水高度14公分，大約濺起10.3公分；距水高度16公分，大約濺起11.4公分；距水高度18公分，大約濺起15.5公分。
- (三)發現在距水高度10公分時，產生的空氣柱長度為4.3公分，當距水高度18公分時，產生的空氣柱長度為6公分。由此可知，距水高度越高，空氣柱越大。
- (四)由圖十四可以看到白色圓圈內的空氣柱，雖然完整但不是很長。

六. 有無衛生紙對水花濺起高度之影響



圖十五 有無衛生紙平均濺起的水花高度



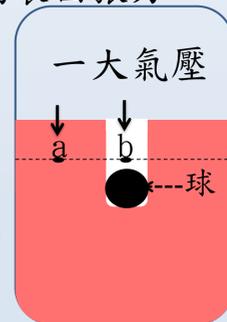
圖十六 水6公分有衛生紙(未剪過)

結果：

- (一)放置未剪過的衛生紙能有效減低水花濺起高度，如圖十五所示。
- (二)有衛生紙且未剪過的效果最好。
- (三)無衛生紙的，水花濺起高度10.3公分；有放置衛生紙且未剪過的，水花濺起高度5.2公分。
- (四)發現在無衛生紙時，產生的空氣柱長度為5.6公分，且十分明顯；當衛生紙未剪過時，產生的空氣柱極不完整，無法測量其長度；當衛生紙被剪過時，空氣柱明顯，長5.8公分，且衛生紙被甩起。由此可知，未剪過衛生紙能影響空氣柱形成。
- (五)我們可以從圖十六發現，空氣柱並沒有形成，所以濺起水花較低。

陸、討論：

一.本研究的實驗一主要在探討不同泡沫厚度對水花濺起高度之影響，結果發現水花的濺起高度會隨著泡沫厚度增加而降低。我們嘗試推測水花濺起的原因:當球落下時會形成一個空氣柱，因為a點的壓力會大於b點(如圖十七)，所以當水向外排開後又會向內復原，造成兩側水向內擠壓，也可能是因為連通管原理，造成旁邊較高的水往中間流。空氣柱因上方的水閉合而形成一個氣泡，因浮力作用氣泡會向上浮起，加上四周水擠壓的作用力，就會形成我們所看到的水花。由前述水花成因得知，當球落入水時產生的空氣柱，就是造成水花濺起的主要原因，所以泡沫越厚，產生的空氣柱越短，造成水花濺起高度也越低。我們也觀察到水花濺起的過程分三個階段，而第三階段濺起的小液滴，高度往往可以超過初始水花高度，其高度也是我們最主要的數據。而當泡沫厚度大約為3.4公分時，就幾乎不會有水花濺起。我們推測泡沫厚度會影響水花濺起高度有五個可能的原因，分別為：(一)泡沫能吸收液體搖晃時產生的力量、(二)泡沫本身具有阻尼作用的表面特性，可以減緩球入水時的力量、(三)泡沫平鋪於水面上，可以形成一層阻隔、(四)本研究的泡沫是由清潔劑產生，而清潔劑本身即為界面活性劑，會破壞水的表面張力、(五)我們從高速攝影機拍攝的影片中發現，當泡沫的厚度越厚，所產生的空氣柱長度越短。



圖十七 球落下時形成空氣柱示意圖

- 二.本研究的實驗二主要在探討不同濃度的泡泡水所產生的泡沫對水花濺起高度之影響，結果發現水花的濺起高度會隨著泡泡水的濃度降低而升高，且在濃度20%時，降低濺起水花高度的效果就已非常良好。在進行實驗之前，我們推測如果泡沫間的空隙小、黏性強，加上產生的泡沫較小，會讓濺起的水花較低，所以泡泡水濃度越濃，越能防止水花濺起。而我們在所有不同濃度的實驗中，發現濺起的水花高度皆不會超過17公分，所以並不需要用濃度超過20%以上的泡泡水來產生泡沫，用10%的泡泡水產生泡沫2公分就可以有效解決被水花噴到的困擾。
- 三.本研究的實驗三主要在探討不同水深對水花濺起高度之影響，結果發現水花的濺起高度會隨著水深增加而升高。除此之外，我們亦檢視使用高速攝影機錄製的影片，結果發現當水深較淺時，形成的空氣柱長度較短，因為其較難形成所以也較不完整，因而濺起的水花高度相對就會較低。為了將實驗三的結果應用於我們平時使用的坐式馬桶，我們先測量坐式馬桶的水深，以及臀部與水面的距離，結果發現水深大約為10公分，且我們坐在馬桶上時距離馬桶水大約是17公分，若比對實驗三在水深10公分的結果，發現水花濺起高度大約為20公分，超過臀部與水面的距離，因此在上廁所時被水花濺到是相當正常的事，與本研究的實驗結果相符。
- 四.本研究的實驗四主要在探討不同水面面積對水花濺起高度之影響，結果發現水花的濺起高度會隨著水面面積增加而升高。我們從實驗影片中發現，2000毫升燒杯(水面面積為85.69平方公分)的第二階段和第三階段水花濺起的時間非常接近，我們推測可能是球入水時，造成水散開，而其水波傳回的時間點，剛好碰上第三階段的水花濺起，兩個力加在一起，進而造成水花濺起較高；相同的，我們也觀察並分析500毫升燒杯(水面面積為34.63平方公分)的影片，發現500毫升燒杯的第二階段水花落下時，第三階段的水花剛好濺起，我們推測這可能是影響水花濺起高度的主要原因。
- 五.本研究的實驗五主要在探討不同距水高度對水花濺起高度之影響，結果發現水花的濺起高度會隨著距水高度增加而升高。因為球在較高的高度時具有的位能較大，當球落到水面時轉換產生的動能也相對較大，所以濺起的水花也較高。我們發現球的距水高度越高，落下時所產生的空氣柱較長，球的距水高度越低，產生的空氣柱也相對較短。
- 六.本研究的實驗六主要在探討水面表層有無衛生紙對水花濺起高度之影響，結果發現水花的濺起高度確實會受到衛生紙的影響。雖然我們以為衛生紙能防止水花濺起是大家都知道的事，然而，從研究數據中發現，即使都有放置衛生紙，但衛生紙的形狀竟然會影響到水花濺起的高度。針對這樣的現象，我們認為直接將衛生紙放置於水面上時，會因為形狀的不同，而有部分的衛生紙黏附於燒杯杯壁上，形成了一股拉力，這個拉力可以降低水花濺起的高度，有三種可能的原因：(一)其減緩了球進入水中的速度、(二)其能阻擋水花濺起、(三)其會影響空氣柱的形成。另外，針對將衛生紙剪成和水面面積一樣大小的實驗，發現剪過的衛生紙不但無法達到效果，濺起的水花反而比無衛生紙時濺的高，我們推測可能的原因為剪過的衛生紙沒有與杯壁黏附，因此沒有足夠的拉力，所以當球落下時反而會把衛生紙甩上來造成水花濺得更高。
- 七.未來我們希望能夠利用搖晃的方式來檢測泡沫的防濺能力，因為要如何安全運送可燃液體是十分重要的議題。若泡沫的覆蓋能夠有效防止液體噴濺，說不定就能應用在運送液化石油氣，甚至是火箭的燃料槽中，將會大大的降低這些易燃物所造成的危險性。
- 八.綜合上述的實驗結果與討論，我們建議製作馬桶的廠商，應當考量適當的降低水深、距水高度還有減少水面面積大小。當水深7公分時距水14公分或者是水深6公分時距水18公分，將能避免被水花濺到。在水深6公分距水14公分的情況下，使用泡泡水濃度10%的泡沫2公分時，更能有效防止水花濺到身體。

柒、結論：

- 一.在本研究中觀察到泡沫厚度越厚越能有效防止水花濺起，最主要的原因是當泡沫越厚時，球落下產生的空氣柱即越短，造成水花濺起高度也越低。
- 二.在泡泡水濃度的實驗中，我們發現泡泡水濃度越高，水花濺起的高度越低。但若以成本及實用的角度上來看，以泡泡水濃度10%，泡沫高度2公分的條件即可有效地防止污物噴濺。
- 三.在探討不同水深對水花噴濺的影響時，我們發現水深越深濺起的水花越高。原因是當水深較淺時，形成的空氣柱長度較短，空氣柱較難形成也較不完整，因而濺起的水花高度相對就會較低。
- 四.在探討不同水面面積對水花濺起高度之影響，結果發現水花的濺起高度會隨著水面面積的增加而增加。水花濺起的高度依序為：燒杯2000毫升 > 1000毫升 > 500毫升。
- 五.在探討不同距水高度對水花濺起高度之影響時，結果發現在距水高度10到18公分的範圍內，水花的濺起高度會隨著距水高度的增加而增加。原因是當距水高度愈高，形成的空氣柱愈長，可以濺起較高的水花，反之亦然。
- 六.本研究中探討有無衛生紙對水花濺起高度之影響，結果發現在水面上覆蓋衛生紙能有效地降低水花的濺起高度，但衛生紙需有部分黏附著於杯壁上才會有明顯的效果。

捌、參考資料：

(參考書面資料)